

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 0711605-5 A2**

BRPI0711605A2

(22) Data de Depósito: 04/05/2007

(43) Data da Publicação: 20/12/2011
(RPI 2137)

(51) *Int.Cl.:*

B62D 5/04

(54) **Título:** SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO, E, PROCESSO DE GESTÃO DE UMA DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO

(30) **Prioridade Unionista:** 16/05/2006 FR 0604349

(73) **Titular(es):** Renault S.A.S.

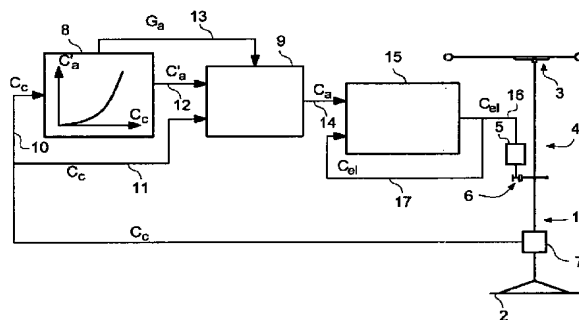
(72) **Inventor(es):** Cottard, Philippe, Martinez Didier

(74) **Procurador(es):** Custódio De Almeida & Cia

(86) **Pedido Internacional:** PCT FR2007051 220 de
04/05/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/132109de
22/11/2007

(57) **Resumo:** SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO, E, PROCESSO DE GESTÃO DE UMA DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO Sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo. O sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo compreende um acionador (4) de cremalheira (3) e um sensor (7) de medida do torque aplicado pelo condutor no volante (2), dispostos sobre a coluna de direção (1), respectivamente entre o volante (2) e a cremalheira (3), e entre o acionador (4) e o volante (2). O sistema compreende meios de elaboração (9) de um torque de assistência final da direção assistida elétrica adaptada para simular uma localização idêntica do acionador (4) de cremalheira (3) e do sensor (7) de medida de torque sobre a coluna de direção (1), de modo que nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é essencialmente nula.



"SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO, E, PROCESSO DE GESTÃO DE UMA DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO"

A presente invenção refere-se a um sistema e a um processo de direção assistida elétrica de veículo automotivo.

De modo clássico, os veículos automotivos são dotados de um chassi, um habitáculo e rodas ligadas ao chassi por um mecanismo de suspensão com rodas dianteiras orientadoras comandadas por um volume à disposição de um condutor dentro do habitáculo do veículo.

Entre o volante e as rodas, é prevista uma coluna de direção solidária em rotação do volante, cuja extremidade inferior é provida com um pinhão atuando sobre uma cremalheira permitindo fazer girar as rodas em torno de um eixo sensivelmente vertical, a fim de assegurar sua orientação e a rotação do chassi do veículo.

Tais mecanismos de direção podem ser providos com uma assistência elétrica permitindo reduzir os esforços do condutor, em particular quando de manobras de parada, por exemplo uma manobra para estacionar.

Os mecanismos compreendem geralmente um acionador de cremalheira disposto sobre a coluna de direção entre o volante e a cremalheira, e um sensor de medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante disposto sobre a coluna de direção entre o acionador e o volante.

O documento FR 2 814 423 refere-se a um processo de determinação de um torque de assistência devendo ser fornecido por um motor elétrico de um sistema de direção assistida. O torque de assistência é obtido multiplicando-se o torque condutor por um ganho de assistência dependendo do torque condutor e da velocidade do veículo.

Tais sistemas não levam em conta os problemas de ressonância mecânica do sistema.

Com efeito, o acoplamento de uma direção assistida elétrica com o trem dianteiro de um veículo, constitui um sistema eletromecânico tendo duas ressonâncias mecânicas principais.

5 Cada uma destas duas ressonâncias principais é caracterizada por uma frequência (frequência de ressonância), um amortecimento (coeficiente de sobretensão à ressonância) e uma deformada modal.

A deformada modal pode ser percebida como a imagem do deslocamento geométrico de todos os pontos vibrantes em fase na frequência da ressonância considerada.

10 Nestas frequências de ressonância, a estabilidade do sistema é fortemente degradada, o que provoca, na prática, oscilações do sistema.

Existem sistemas que diminuem o ganho do servo-controle para reduzir a banda passante do sistema em circuito em relação às frequências destes dois modos de ressonâncias principais. No entanto, tal redução de ganho do sistema em circuito gera uma baixa sensível dos desempenhos quando se atinge uma destas duas ressonâncias principais.

15 Outros sistemas reduzem localmente em frequência o ganho do servo-controle por filtração. Tais sistemas diminuem nitidamente os desempenhos de regulação do servo-controle nas frequências das duas ressonâncias principais.

20 Assim, um objetivo da invenção é gerenciar o controle destas duas ressonâncias principais, sem diminuir os desempenhos do sistema de direção assistida elétrica quando se atinge um modo de funcionamento em uma destas duas ressonâncias principais.

25 Assim, de acordo com um aspecto da invenção, é proposto um sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo, compreendendo um acionador de cremalheira e um sensor de medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante, dispostos sobre a coluna de direção,

respectivamente entre o volante e cremalheira, e entre o acionador e o volante. O sistema compreende meios de elaboração de um torque de assistência final da direção assistida elétrica adaptada para simular uma localização idêntica do acionador de cremalheira e do sensor de medida de torque sobre a coluna de direção, de modo que nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase de diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é sensivelmente nula.

Tal filtração permite atingir, nas frequências de ressonância, uma fase sensivelmente nula do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema, e assim simular uma localização idêntica do acionador de cremalheira e do sensor de medida de torque sobre a coluna de direção, e assim evitar as oscilações do sistema nestas frequências de ressonância, sem degradação dos desempenhos do sistema.

O torque de assistência final da direção assistida elétrica é o torque transmitido à coluna de direção pelo acionador.

De acordo com uma forma de realização, o sistema compreende meios de estimativa de um torque de assistência inicial predeterminado e de um ganho de assistência predeterminado, em função da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante.

Por exemplo, o torque de assistência inicial predeterminado é calculado por meio de uma função matemática predeterminada, ou de uma cartografia embarcada. O ganho de assistência predeterminado corresponde ao valor da inclinação do torque de assistência inicial em função da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante.

De acordo com uma forma de realização, os referidos meios de elaboração compreendem primeiros meios de filtração do torque de assistência inicial em função do ganho de assistência.

De acordo com uma forma de realização, os referidos meios de

elaboração compreendem segundos meios de filtração da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante.

De acordo com uma forma de realização, os referidos meios de elaboração compreendem meios de adição dos sinais de saída dos primeiros e segundos meios de filtração, para distribuir o referido torque de assistência final na saída dos referidos meios de elaboração.

De acordo com uma forma de realização, o referido acionador compreendendo um motor elétrico, o referido sistema compreende, por outro lado, meios de transformação do referido torque de assistência final em um comando correspondente de corrente de alimentação do motor elétrico.

De acordo com uma forma de realização, os referidos primeiros meios de filtração de tipo passa-baixo são adaptados para aplicar um retardo de fase de sensivelmente $\pi/4$ radiano à primeira frequência principal de ressonância mecânica do sistema.

De acordo com uma forma de realização, os referidos segundos meios de filtração de tipo passa-alto são adaptados para aplicar um avanço de fase de sensivelmente $\pi/4$ radiano à segunda frequência principal de ressonância mecânica do sistema.

De acordo com um outro aspecto da invenção, é igualmente proposto um processo de gestão de uma direção assistida elétrica de veículo automotivo, em que se elabora um torque de assistência da direção assistida elétrica adaptado para simular uma localização idêntica de um acionador de cremalheira e de um sensor de medida de torque dispostos sobre a coluna de direção, de modo que nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é sensivelmente nula.

Outros fins, características e vantagens da invenção aparecerão na leitura da descrição seguinte, de alguns exemplos nulamente limitativos, e

feitos com referência aos desenhos anexos, em que:

- a figura 1 ilustra uma forma de realização de um sistema de acordo com uma forma de realização da invenção, e

5 - a figura 2 ilustra um módulo de elaboração de um torque de assistência final da direção assistida elétrica de acordo com um aspecto da invenção.

10 Como ilustrado na figura 1, um sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo compreende uma coluna de direção de referência 1 de modo geral, e provida, em uma extremidade, com um volante 2 solidário em rotação, que transforma um movimento de rotação do volante em um movimento de translação de um conjunto cremalheira / pinhão de referência 3 e bem conhecido.

15 Um acionador 4, compreendendo um motor elétrico 5 gerando um torque de assistência sobre a coluna de direção 1 por intermédio de um redutor 6, procura uma assistência à frenagem das rodas de direção do veículo.

Um sensor 7, de medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante 2, é disposto entre o volante 2 e o acionador 4.

20 Um módulo de estimativa 8 de um torque de assistência inicial C'_a predeterminado em função da medida do torque C_c aplicado pelo condutor sobre o volante 2.

O sensor 7 de medida do torque transmite o torque C_c aplicado pelo condutor sobre o volante 2 ao módulo de estimativa 8 e a um módulo de elaboração 9, respectivamente, pelas conexões 10 e 11.

25 O módulo de estimativa 8 distribui, ao módulo de elaboração 9, de um lado, o torque de assistência inicial predeterminado C'_a por uma conexão 12 e, por outro lado, um ganho de assistência predeterminado G_a por uma conexão 13.

O módulo de elaboração 9 elabora um torque de assistência final C_a da direção assistida elétrica, adaptado para simular uma localização idêntica do acionador 4 e do sensor 7 de medida de torque. Em outros termos, trata-se de simular um posicionamento idêntico sobre a coluna de direção do acionador 4 e do sensor de medida de torque 7.

O torque de assistência final C_a é transmitido pelo módulo de elaboração 9, por intermédio de uma conexão 14, a um módulo de transformação 15 do torque de assistência final C_a em um comando C_{el} correspondente de corrente de alimentação do motor elétrico 5, por intermédio de uma conexão 16.

O módulo de transformação 15 é munido de um circuito de retroação 17 da saída sobre a entrada para transmitir o comando C_{el} .

A figura 2 ilustra uma forma de realização mais detalhada do módulo de elaboração 9.

O módulo de elaboração 9 compreende um primeiro módulo de filtração 18, de tipo passa-baixo, um segundo módulo de filtração 19, de tipo passa-alto, e um módulo de adição 20.

O primeiro módulo de filtração 18 recebe, na entrada, o torque de assistência inicial C_a' e o ganho de assistência G_a , respectivamente pelas conexões 12 e 13.

O segundo módulo de filtração 19 recebe, em entrada, o torque C_c aplicado pelo condutor sobre o volante e medido pelo sensor 7, por intermédio da conexão 11.

O módulo de adição 20 recebe, em entrada, as saídas respectivas dos primeiro e segundo módulos de filtração 18 e 19 pelas conexões 21 e 22.

O módulo de adição 20 distribui, na saída do módulo de elaboração 9, o torque de assistência final C_a pela conexão 14.

Em tal sistema, observam-se duas frequências principais de

ressonância mecânica.

A primeira frequência de ressonância é produzida pela rigidez lateral do trem dianteiro de direção, e as inércias do volante e do motor do veículo. A expressão de sua pulsação $\omega_{1D.A.E}$ correspondente é a seguinte:

$$\omega_{1D.A.E} = \sqrt{\frac{k_0 n_{rk}^2}{n_{gb}^2 J_{mot} + J_{sw}}}$$

em que:

k_0 representa a rigidez transversal do trem dianteiro, em N/m;

n_{rk} representa a relação de cremalheira, em m/rad;

n_{gb} representa a relação de redução, adimensional;

J_{mot} representa a inércia do motor elétrico, em kg.m²; e

J_{sw} representa a inércia do volante, em kg.m².

Trata-se de uma ressonância com baixa frequência, geralmente compreendida entre 3 Hz e 6 Hz. Em tais frequências, a resistência do sensor de torque 7 pode ser considerada como infinita.

A segunda ressonância provém da inclinação do sensor de torque 7 e das inércias do volante 2 e do motor elétrico 5. A expressão da pulsação correspondente $\omega_{2D.A.E}$ é a seguinte:

$$\omega_{2D.A.E} = \sqrt{\frac{k_{sen} J_{mot} n_{gb}^2 J_{sw}}{J_{mot} n_{gb}^2 + J_{sw}}}$$

em que :

k_{sen} representa a inclinação do sensor de torque, em Nm/rad.

Esta ressonância corresponde a uma alta frequência, geralmente compreendida entre 14 Hz e 20 Hz. A vibração é tal que a inércia do motor

elétrico 5 está em oposição de fase com a inércia do volante 2, e a rigidez do sensor de torque 7 está compreendida entre estas duas inércias.

De modo geral, um sistema possuindo ressonâncias induzidas pelos elementos mecânicos tem como principal problema a estabilidade de
5 servocontrolar a localização idêntica do sensor de torque 7 e do acionador 4.

Em um sistema integrando um sensor e um acionador, estes dois elementos são ditos de localização idêntica se o esforço aplicado pelo acionador e a medida realizada pelo sensor atuarem sobre a mesma inércia. Esta localização idêntica garante um comportamento em fase do sistema
10 mecânico (sem defasagem entre a entrada e a saída) anulando os problemas de estabilidade nas frequências de ressonância.

Para uma direção assistida elétrica, o princípio de localização idêntica do acionador 4 e do sensor 7 não é respeitado por razões de custo e de volume ocupado.

15 A invenção permite simular uma co-localização por filtração, de modo a atingir, nas frequências de ressonância, uma fase próxima de zero do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema.

A direção assistida elétrica pode ser modelizada pelo sistema de equação seguinte, em que a transformada de Laplace foi aplicada (Se f tiver
20 uma função localmente integrável, definida sobre $[0 ; + \infty]$, chama-se transformada de Laplace de f a função:

$$Lf(s) = \int_0^{+\infty} f(t)e^{-st} dt \text{ com } s=x+iy$$

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{mot} s^2 \theta_{mot} = Kc \times i - \frac{k_{gb} q_{gb}}{n_{gb}} \\ \left(M_{rk} + \frac{J_{col}}{n_{rk}^2} \right) s^2 x_{rk} = \frac{k_{sen} q_{sen}}{n_{rk}} + Fy - k_0 x_{rk} \\ q_{sen} = \theta_{sw} \frac{x_{rk}}{n_{rk}} \\ J_{sw} s^2 \theta_{sw} = -k_{sen} q_{sen} + C_c \\ q_{gb} = -\frac{x_{rk}}{n_{rk}} + \frac{\theta_{mot}}{n_{gb}} \\ Fy = \frac{k_{gb} q_{gb}}{n_{rk}} \end{array} \right.$$

em que:

θ_{mot} representa o ângulo motor; em rad;

Kc representa uma constante de torque do motor, em Nm/A;

5 i representa a corrente do motor, em A;

k_{gb} representa a rigidez do redutor, em Nm/rad;

q_{gb} representa o deslocamento relativo do redutor, em rad;

M_{rk} representa a massa da cremalheira, em kg;

J_{col} representa a inércia da coluna de direção, em kg.m²;

10 x_{rk} representa o deslocamento da cremalheira, em m;

q_{sen} representa o deslocamento relativo do sensor de torque, em rad;

Fy representa o esforço de assistência, em N;

θ_{sw} representa o ângulo de rotação do volante, em rad; e

C_c representa o torque aplicado pelo condutor sobre o volante, em Nm.

15 As equações precedentes permitem determinar a função de transferência OL_{dae} existente entre a corrente de alimentação do motor elétrico 5 e o torque C_c aplicado pelo condutor sobre o volante 2:

$$OL_{dae} = \frac{k_{sen} J_{sw} s^2 n_{gb} Kc}{n_{gb}^2 J_{mot} s^4 J_{sw} + (k_{sen} n_{gb}^2 J_{mot} + k_{sen} J_{sw} + n_{rk}^2 k_0 J_{sw}) s^2 + n_{rk}^2 k_0 k_{sen}}$$

Levando-se em conta a função de transferência obtida, utiliza-se uma filtração de tipo passa-baixo, realizada pelo primeiro módulo de filtração 18, na primeira frequência de ressonância, permitindo aplicar um retardo de fase sensivelmente igual a $\pi/4$ radiano ou 45° . A função de transferência do primeiro módulo de filtração 18 é a seguinte:

$$\frac{G_a}{1 + s / \omega_{\text{passa-baixo}}}$$

em que o ganho de assistência G_a é o fornecido pela lei de assistência predeterminada do módulo de estimativa 8.

Por outro lado, define-se a pulsação $\omega_{\text{passa-baixo}}$ pela equação seguinte:

$$\omega_{\text{passa-baixo}} = \frac{\omega_{\text{DAE}}}{2\xi} \sqrt{1 + \frac{G_a J_{sw}}{J_{sw} + n_{gl}^2 J_{mot}}}$$

em que:

ξ representa o coeficiente de amortecimento reduzido, adimensional.

O amortecimento da primeira ressonância com um coeficiente de amortecimento ξ predeterminado é garantido. A expressão da pulsação $\omega_{\text{passa-baixo}}$ é determinada calculando-se a função de transferência em circuito fechado entre o torque de assistência e o par torque condutor, depois desenvolvendo em série de Taylor esta última na proximidade da primeira frequência de ressonância. A condição de amortecimento fornece a pulsação $\omega_{\text{passa-baixo}}$ do primeiro módulo de filtração passa-baixo 18.

Ela é dada explicitamente em função dos parâmetros físicos do motor elétrico 5, da rigidez aparente do trem dianteiro, da relação de

cremalheira de direção, do amortecimento desejado e do ganho de assistência G_a . Ela é portanto não estacionária em função do ponto de funcionamento da lei de assistência, ponto fixando o valor do ganho de assistência G_a .

5 Ao contrário, na segunda frequência de ressonância, de alta frequência, o segundo módulo de filtração 19 efetua uma filtração de tipo passa-alto para aplicar um avanço de fase sensivelmente igual a $\pi/4$ radiano ou 45° na segunda frequência de ressonância mecânica do sistema.

A função de transferência do segundo módulo de filtração 19 é a seguinte:

$$\frac{s \times K_v}{1 + s / \omega_{\text{passa-alto}}}$$

10

em que:

K_v representa o ganho de avanço de fase, em A/s.

O ganho K_v e a pulsação $\omega_{\text{passa-alto}}$ são definidos pelas expressões seguintes:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_v = \frac{2(1 + \sqrt{3})\sqrt{3}}{3\sqrt{3 + 2\sqrt{3}}} \frac{n_{gb}}{\omega_{2DAE}} \\ \omega_{\text{passa-alto}} = \sqrt{3}\sqrt{3 + 2\sqrt{3}} \omega_{2DAE} \end{array} \right.$$

15

O sistema, em circuito fechado, amortece a segunda ressonância com um sensor de amortecimento próximo de $1/\sqrt{2}$. O ganho K_v e a pulsação $\omega_{\text{passa-alto}}$ de corte do segundo módulo de filtração 19, de tipo passa-alto, não dependem do ganho de assistência G_a , mas unicamente de parâmetros físicos

da direção assistida elétrica.

Assim, a estratégia de comando global do módulo de elaboração 9 tem por função de transferência:

$$\frac{C_a}{C_c} = \left(\frac{K_v \times s}{(1 + s / \omega_{\text{passa-alto}})} + \frac{G_a}{(1 + s / \omega_{\text{passa-baixo}})} \right)$$

- 5 Os dois módulos de filtração 18 e 19 empregam filtrações de primeira ordem, fáceis de realizar e, portanto, de custo reduzido.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo, compreendendo um acionador (4) de cremalheira (3) e um sensor (7) de medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante (2), dispostos sobre a coluna de direção (1), respectivamente entre o volante (2) e a cremalheira (3), e entre o acionador (4) e o volante (2), caracterizado pelo fato de que ele compreende meios de elaboração (9) de um torque de assistência final da direção assistida elétrica adaptado para simular uma localização idêntica do acionador (4) da cremalheira (3) e do sensor (7) de medida de torque sobre a coluna de direção (1), de modo que nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é sensivelmente nula, os referidos meios de elaboração (9) compreendendo primeiros meios de filtração (18) do torque de assistência final em função do ganho de assistência, e segundos meios de filtração (19) da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante (2), e em que ele compreende meios de estimativa (8) de um torque de assistência inicial predeterminado e de um ganho de assistência predeterminado, em função da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante (2).

2. Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os referidos meios de elaboração (9) compreendem meios de adição (20) dos sinais de saída dos primeiros e segundos meios de filtração (18), 19) para distribuir o referido torque de assistência final em saída dos referidos meios de elaboração (9).

3. Sistema de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o referido acionador (4) compreende um motor elétrico (5), e em que o referido sistema compreende, por outro lado, meios de transformação (15) do referido torque de assistência final em um comando correspondente de corrente de alimentação do motor elétrico (5).

4. Sistema de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que os referidos primeiros meios de filtração (18) de tipo passa-baixo são adaptados para aplicar um retardo de fase de sensivelmente $\pi/4$ radiano à primeira frequência principal de ressonância mecânica do sistema.

5. Sistema de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que os referidos segundos meios de filtração (19) de tipo passa-alto são adaptados para aplicar um avanço de fase de sensivelmente $\pi/4$ radiano à segunda frequência principal de ressonância mecânica do sistema.

6. Processo de gestão de uma direção assistida elétrica de veículo automotivo, caracterizado pelo fato de que se elabora um torque de assistência final da direção assistida elétrica adaptado para simular uma localização idêntica de um acionador (4) de cremalheira (3) e de um sensor (7) de medida de torque dispostos sobre a coluna de direção (1), de modo que, nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase do diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é sensivelmente nula por filtração do torque de assistência inicial em função do ganho de assistência, e por filtração da medida do torque aplicado pelo condutor sobre o volante.



RESUMO

"SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO, E, PROCESSO DE GESTÃO DE UMA DIREÇÃO ASSISTIDA ELÉTRICA DE VEÍCULO AUTOMOTIVO"

5 Sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo. O sistema de direção assistida elétrica de veículo automotivo compreende um acionador (4) de cremalheira (3) e um sensor (7) de medida do torque aplicado pelo condutor no volante (2), dispostos sobre a coluna de direção (1), respectivamente entre o volante (2) e a cremalheira (3), e entre o acionador
10 (4) e o volante (2). O sistema compreende meios de elaboração (9) de um torque de assistência final da direção assistida elétrica adaptada para simular uma localização idêntica do acionador (4) de cremalheira (3) e do sensor (7) de medida de torque sobre a coluna de direção (1), de modo que nas duas frequências principais de ressonância mecânica do sistema, a fase do
15 diagrama de Bode representando o funcionamento do sistema é essencialmente nula.